

лие для выдергивания костыля составило 10,5 кН, для шурупа – 33 кН); шурупы, вкрученные в отверстия, предварительно залитые полимером (усилие для выдергивания шурупа – больше 50 кН).

Результаты научно-исследовательской работы по восстановлению эксплуатационных свойств старогородных деревянных шпал внедрены на Харьковском метрополитене.

1. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. – М. - Л.: Химия, 1964. – 784 с.
2. Шварев Б.Л. Продление срока службы деревянных шпал. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 48 с.
3. Попов В.В. Гниение шпал в пути и меры борьбы с ним. – М.: Транспорт, 1967. – 132 с.
4. Инструкция по применению композиции полимерной «Монолит-3» для гидроизоляции и укрепления тоннельных сооружений и окружающих их грунтов. – К., 1998.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Відновлення шпального господарства із застосуванням сучасних полімерних матеріалів» (заключительный). – Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 54 с.
6. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. шк., 1984. – 168 с.
7. Дюлидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. – М.: Высш. шк., 1975. – 252 с.

*Получено 29.10.2007*

УДК 678.027.3

І.Ю.НЕДОБІЙ, В.М.ПАХОМОВА, Д.Г.ШУСТИНСЬКА,

А.Д.ПЕТУХОВ, д-р техн. наук

*Національний технічний університет «КПІ», м. Київ*

## **ПРОСТОРОВЕ СТРУКТУРУВАННЯ СПІНЕНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ**

Аналізуються методи структурування пінополіетиленів, у тому числі, перспективний – силанольний. Розглядається вплив зшивання та складу композицій на властивості отриманого матеріалу. Наводяться окремі результати досліджень.

Одним із важливих напрямків розвитку сучасної хімії високомолекулярних сполук є покращення властивостей полімерних матеріалів, які випускає промисловість, з метою розширення областей застосування. Поліолефіни (ПО) становлять вагому частину загального обсягу виробництва термопластів, особливо поліетилен (ПЕ), але внаслідок недостатньої міцності, термостійкості та повзучості при температурах, близьких до температури плавлення цього полімеру (105...130 °С), область його застосування дещо обмежена. Небажаною властивістю ПЕ є його здатність з часом розтріскуватися під навантаженням при впливі атмосферних факторів, внутрішніх напружень і при контакті з деякими середовищами. Це пояснюється, в першу чергу, лінійною бу-

довою макромолекул ПЕ. Часткове подолання цих та інших недоліків можливе за допомогою модифікації, що дозволяє розширити діапазон застосування як самого гомополімеру, так і сумішей на його основі.

Зшиті матеріали покликані замінити звичайні, що вже знайшли попит в різних галузях промисловості, будівництва, сільського господарства, побуту. Вибір вихідного полімеру обумовлений насамперед його властивостями: значними хімічною стійкістю, механічною міцністю, морозостійкістю, теплостійкістю та ін. у широкому інтервалі температур.

Слід зазначити, що особливий інтерес мають пінополіетилені, які завдяки модифікації можуть застосовуватися в будівництві й сферах енергозбереження як високоефективний ізоляційний матеріал [3].

Важливий крок на шляху створення нових полімерних матеріалів було зроблено у результаті формування в гомогенній або гетерогенній полімерній системі тривимірної сітки хімічних вузлів завдяки зшиванню. Процес зшивання було започатковано ще в 70-х роках ХХ ст. Спочатку він проводився шляхом опромінення поліетилену гамма-променями (так зване радіаційне зшивання), але потім були виявлені й інші способи зшивання.

Під терміном «зшитий поліетилен» розуміють поліетилен, у якого високомолекулярні лінійні ділянки макромолекул за певною технологією з'єднуються (зшиваються) між собою поперечними зв'язками зі створенням тривимірної сітчастої структури (рис.1).

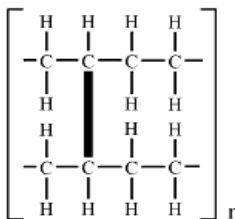


Рис.1 – Графічна формула зшитого поліетилену (місток зшивки виділений лінією)

Технологія зшивання визначає частоту та розташування зв'язків, а також їхню хімічну природу. Відносна кількість утворених поперечних зв'язків в одиниці об'єму поліетилену визначається показником «ступеню зшивання». Існує три методи виробництва зшитого поліетилену: Перший – метод хімічної модифікації поліетилену за допомогою органічних пероксидів чи гідропероксидів. Другий – хімічний спосіб зшивання поліетилену за допомогою органосиланідів (силанів): кремневоднів (гідридів кремнію типу  $\text{SiH}_4$ ), в яких атоми водню замінені органічними радикальними групами [1]. Третій – фізичний метод зшивання й полягає у впливі на С-Н зв'язок поліетилену опроміненням частками

високих енергій.

Однак як радіаційний, так і хімічний метод пероксидної зшивки вимагає додаткового оснащення виробництв дорогим унікальним обладнанням та спеціального захисту від випромінювання високих енергій. Недоліком хімічного пероксидного методу є також можливість передчасного структурування в процесі виготовлення й формування виробів, у результаті чого матеріал втрачає текучість і ускладнюється його переробка, а також нерівномірність структурування по товщині поліетиленового шару.

Усунути вказані недоліки в значній мірі дозволяє метод силанольного зшивання [1, 2]. Першою стадією є прививка до поліетилену ненасиченої кремнійорганічної речовини загальної формули  $R_nSiX_{(4-n)}$ , де  $R$  – ненасичений органічний радикал, який містить 2-12 атомів вуглеводню та представляє собою алкеніл-, циклоалкіл- або інший радикал,  $X$  – легкогідролізуюча група:  $H$ ,  $Hal$  або  $OR$ , де  $R$  – алкіл-, арил-, циклоалкіл-, аралкіл. Активні молекули органосиланідів заміщають атоми водню в макромолекулах поліетилену, використовуючи для цього слабкий подвійний зв'язок  $C=C$ . Далі при взаємодії силанових зв'язків з водою утворюються силанольні групи  $-Si(OH)_3$ , які потім конденсуються з утворенням зв'язку  $-Si-O-Si-$  та виділенням води. Процес остаточного зшивання завершується вже у твердій стадії вибору (рис.2).

Створення тривимірної структури дозволило поліпшити окремі властивості ПЕ при збереженні комплексу інших цінних властивостей, а саме: підвищену максимальну температуру експлуатації, стійкість до термоокислення при температурі до  $+160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зменшену деформацію під навантаженням, поліпшені характеристики на розрив/злам при механічній нарузі в плівках і кабелях; підвищену стійкість до ударних навантажень, підвищену стійкість до впливу ультрафіолетових променів, низьку киснепроникність, підвищену стійкість до агресивних середовищ, знижену горючість.

До складу дослідної композиції входили: поліетилен високого тиску марки 15313-02 (100 мас. ч.), пороутворювач  $CH_3-21$  (0,1...0,7), активатор стеарат цинку (0,7 мас. ч.) і зшиваючий агент для поліетилену – «Пента-1002» (відповідно до плану дослідження) у вигляді сухого концентрату на пористій основі. Змінюючи концентрацію зшиваючого агенту від 0 до 5%, отримували плівку з різною концентрацією силану в полімерній матриці.

Одержання плівки відбувалось на лабораторній установці з діаметром черв'яка екструдера 25 мм

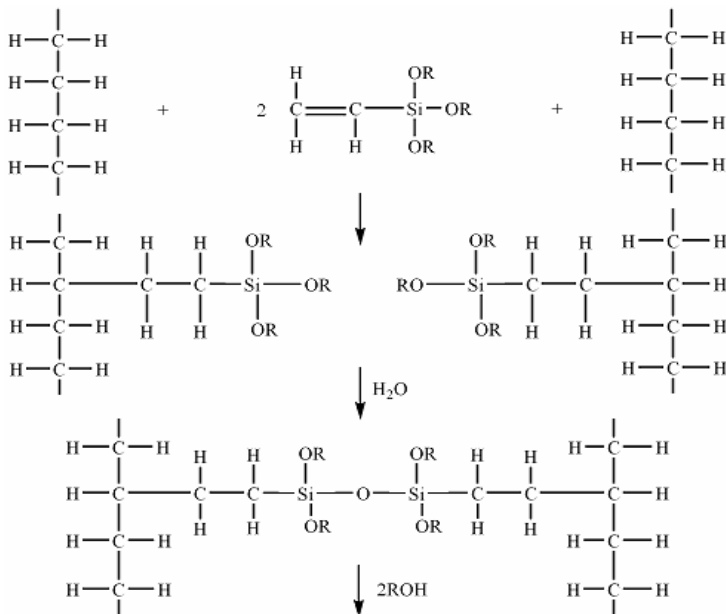


Рис. 2 – Поперечне зшивання поліетилену силанами

У процесі виготовлення спіненої плівки із зшитого силанами поліетилену підтримували технологічні режими переробки: частота обертання черв'яка – 124 об./хв., швидкість витягування плівкового рукава 2; 2,5; 3; 3,5 м/хв., температура по зонах зростала від 70 до 210 °С, температура розплаву – 205 °С, ступінь роздуду плівки 1,8.

Підготовку композиції з сухих компонентів проводили безпосередньо перед завантаженням її в екструдер. Композиція проходила всі стадії термічного й механічного навантаження в екструдері та завершувалося при обробці в гарячій воді (70 °С, 7 год.). У результаті був отриманий силанольно-зшитий та незшитий пінополіетилен (для порівняння) у вигляді плівки товщиною 0,3...1,5 мм.

Порівнявши властивості отриманих ПЕ встановлено: уявна густина із збільшенням силанового концентрату до 1,7% (при концентрації порофору 0,2%) зростає. При збільшенні уявної густини зменшується розмір комірок та досягається більш вузьке розподілення комірок за розмірами. Максимальний у даному випадку розмір комірок спостерігається для незшитої полімерної матриці при меншій густині [2].

Приблизно такий вплив силану відмічено й при дослідженні залежності напруги при розриві зразків плівки від концентрації силану

(швидкості руху рухомого нижнього захвату 100 та 200 мм/хв.). При збільшенні концентрації зшиваючого агенту до 2,5-5% відбувається зменшення напруги при розриві (рис.3).

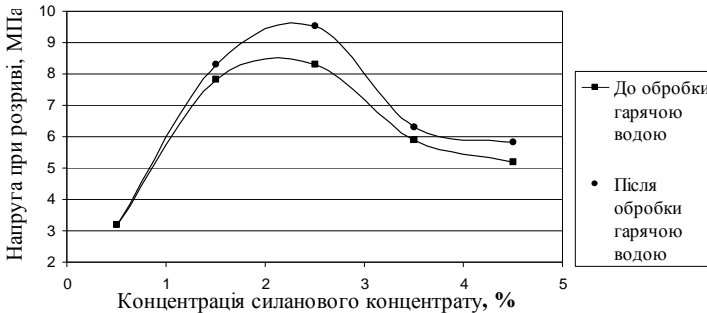


Рис. 3 – Залежність напруги при розриві від концентрації Пента-2001

Наступна залежність показує, що збільшення концентрації силану в композиції зменшує відносне видовження (рис.4).



Рис.4 – Залежність відносного видовження від концентрації Пента-2001

Дослідження впливу концентрації силану на жорсткість комірок показали зростання жорсткості комірок матриці по мірі збільшення вмісту силану.

Слід також зазначити, що час зшивання суттєво знижується при отриманні спінених виробів, що пояснюється більш розвинутою поверхнею пористої структури і зростанням дифузії зшиваючого агенту до макромолекул ПЕ.

Одержані дані свідчать про проходження структурування одержаного поліетилену: збільшується до певної концентрації міцність по-

лімеру, зменшується відносно видовження, збільшується жорсткість комірок. Усе це пояснюється утворенням міжмолекулярних силоскано-нових зв'язків.

1.Хватова Т.П., Сафроненко Е.Д. и др. Сшивание полиолефинов органосиланами. – М., 1980. – 20 с.

2.Осипчик В.С., Лебедева Е.С., Василец Л.Г. Разработка и исследование свойств силанольноштитого полиэтилена // Пластические массы. – 2000. – №9. – С.27-31.

3.Свідерський В.А., Пестухов А.Д., Шустинська Д.Г., Коломієць С.С. Екструзійні пінопіліолефіни: удосконалення методів їх виробництва і властивостей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.67. – К.: Техніка, 2006. – С.46-52.

*Отримано 29.10.2007*

УДК 624.07.531.1

К.И.СОЛДАТОВ, канд. техн. наук, Г.С.ЖЕЛЕЗНЯК

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В.Лазаряна*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ КВАЗИРЕГУЛЯРНОЙ ТРЕХПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ НА УПРУГИХ ОПОРАХ ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОСТИ ПО МАССЕ И ЖЕСТКОСТИ ПРОЛЕТОВ**

На примере трехпролетной нерегулярной балки на упругих опорах исследуется влияние различных по жесткости и погонной массе пролетов на частоту балки. Показано, что при определенных значениях параметров нерегулярности в практических расчетах можно использовать простые решения для регулярных систем, приближенные зависимости, графики с высокой точностью полученных результатов.

В связи с тем, что абсолютно жестких опор как таковых в природе не существует, что отчасти было показано ранее в [3], их использование в расчетной схеме может привести в определенных случаях к ошибке. И как результат – возможно нахождение собственных колебаний в диапазоне частот, негативно влияющих на физическое состояние находящегося непосредственно на конструкции (мосту) человека, так же не исключена возможность появления резонанса. Наиболее точными расчетными схемами неразрезных балок могут служить балки на упругих опорах.

Данная работа представляет собой продолжение исследования влияния на собственную частоту трехпролетной балки различного рода нерегулярностей [2, 4]. В данном случае рассмотрим влияние на частоту балки нерегулярностей по жесткостным ( $EI$ ) и массовым ( $\mu$ ) параметрам при различных жесткостях упругих опор.

Цель данного исследования – определить диапазон отношений жесткости пролетов, массовых характеристик, при которых возможно